Rev. Écol. Biol. Sol, 1984, **21** (4) : 507-518.

Expérience de piétinement contrôlé du sol d'une forêt périurbaine : effets sur le peuplement de Collemboles

PAR

Z. MASSOUD, J.-M. BETSCH et J.-M. THIBAUD

Muséum National, Écologie Générale, 4, avenue du Petit-Château, F - 91800 Brunoy
ER 204 du C.N.R.S. ; Programme PIREN « Forêts périurbaines »

Synopsis : The human trampling effect on a forest soil was studied throughout a year when considering the number and the specific diversity in Collembola.

The trampling effect caused immediate repercussions throughout the whole species living in litter and soil layers.

Keywords : Temperate forest - suburban forest - trampling - Collembolan community.

INTRODUCTION

Les effets de la compaction des sols par l'homme, les animaux ou les engins d'exploitation ont fait l'objet de quelques travaux, en particulier CHAPPELL *et al.* (1971), ARITAJAT *et al.* (1977), HERMOSILLA *et al.* (1977 et 1978), BIGOT & POINSOT-BALAGUER (1978), DÜGGALI (1937), LIDDLE (1975), FALINSKI (1973). La plupart de ces travaux tenaient compte du degré de tassement de manière subjective.

Depuis quelques années, après des études préliminaires par observations selon des lignes plus ou moins éloignées des zones piétinées dans les forêts de l'Ile-de-France (GARAY *et al.*, 1980 ; MOLFETAS & BLANDIN, 1980), une équipe a tenté de fonder ses observations sur une notion plus objective du tassement du sol.

Reçu le 20-6-1984.
Accepté le 3-9-1984.

REVUE D'ÉCOLOGIE ET DE BIOLOGIE DU SOL - 0035-1822/84/04 507 12 $ 3.20 © Gauthier-Villars

Le but de notre travail était de rechercher l'impact sur le peuplement de Collemboles du passage de l'homme dans une forêt, au cours d'un piétinement expérimental. Ce travail fait partie d'un programme beaucoup plus général sur l' « Étude des changements sociologiques, économiques, écologiques relatifs aux forêts périurbaines » incluant de nombreuses autres disciplines (PIREN, Milieu rural).

I. — LOCALISATION. MATÉRIEL ET MÉTHODES

Le piétinement expérimental a été réalisé dans la forêt de la station biologique de Foljuif (France ; Seine-et-Marne ; 48° 17′ lat. N, 2° 38′ long. E) dans un taillis de charme (*Carpinus betulus* L.) sous futaie de chêne (*Quercus sessiliflora* Smith) (cf. BLANDIN *et al.*, 1980). Le sol est acide, avec un humus de type dysmoder sur roche-mère sableuse (ROBIN et GEOFFROY, *sous presse*).

Le dispositif expérimental est constitué d'une placette rectangulaire de 10 m × 50 m parcourue par un chemin de 90 m de longueur et de 0,40 m de largeur moyenne avec, au centre, un cercle de 4 m², ce dernier dispositif permettant de réduire les effets de bordure.

L'expérience a duré 14 mois (21-1-1982 au 14-3-1983) totalisant 562 passages à raison de 10 passages par semaine d'une personne de 70 kg en moyenne.

Du point de vue physique, ROBIN et GEOFFROY *(sous presse)* ont montré, à l'aide de méthodes différentes (pénétrométrie, mesures de densité apparente et de porosité, mesure de perméabilité et micromorphologie du sol) que la conséquence du tassement du sol par la fréquentation humaine apparaît très tôt (au bout de 42 passages, c'est-à-dire environ un mois) : plus grande résistance à la pénétration, élévation de la densité apparente et diminution de la porosité.

Le protocole d'échantillonnage pour les Collemboles comportait 5 séries de prélèvements (après 1 - 3 - 6 - 9 et 12 mois) effectués en zone témoin et en zone piétinée, chaque série comportant 5 prélèvements fractionnés en 3 niveaux :

— litière : surface 400 cm² ;

— sol 0 à 2,5 cm de profondeur : diamètre 5 cm ;

— sol 2,5 à 5 cm de profondeur : diamètre 5 cm.

L'extraction a été réalisée à sec (méthode Berlese-Tullgren) au laboratoire de Brunoy ; les échantillons d'un même niveau ont été extraits globalement.

II. — RÉSULTATS

A) Résultats globaux.

Les tableaux nous montrent que l'effet du piétinement se fait sentir sur l'effectif total des Collemboles, tous horizons confondus ; il se traduit par une baisse des effectifs.

Cet effet n'est pas ressenti uniformément au niveau de chaque groupe et surtout de chaque espèce ; enfin, pour une même espèce, il diffère selon l'horizon considéré.

Au niveau du groupe pris globalement, il y a baisse d'effectif dans chacun des trois horizons prospectés. Mais la réaction globale des Collemboles n'est pas annulée par la nouvelle chute de litière (octobre 1982 à janvier 1983) ;

TAB. I

Effectifs des espèces extraites de la litière dans la zone-témoin (T) et la zone piétinée (P) de la forêt de Foljuif (Seine-et-Marne, France)

Litière	19.II.82		22.IV.82		26.VII.82		21.X.82		20.I.83	
	T	P	T	P	T	P	T	P	T	P
Xenylla tullbergi	41	4	26	6	80	64	144	103	147	176
Neanura muscorum	7	2	0	0	0	0	5	10	1	0
Mesaphorura krausbaueri	44	1	1	0	2	0	72	24	17	1
Mesaphorura callypygos	0	0	0	0	0	0	14	0	0	0
Total des Poduromorphes	92	7	27	6	82	64	235	137	165	177
Isotoma notabilis	217	22	9	7	10	0	359	203	267	58
Isotomiella minor	0	0	0	0	6	0	25	34	0	0
Folsomia quadrioculata	144	32	0	0	0	0	252	155	614	362
Vertagopus cinereus	0	0	3	3	0	0	0	0	0	3
Total des Isotomidae	361	54	12	10	16	0	636	392	881	423
Entomobrya sp. (jeune) et *E. muscorum*	0	1	0	4	6	0	14	5	27	3
Lepidocyrtus sp. (jeune)	0	0	0	0	0	1	4	2		
Lepidocyrtus curvicollis	1	0	0	0	0	0	16	3	0	0
Lepidocyrtus lanuginosus	7	0	8	0	0	0	1	0	0	0
Heteromurus major	0	0	0	0	0	0	9	1	0	0
Orchesella cincta	1	0	1	1	6	0	0	0	0	0
Pseudosinella alba	0	0	0	1	1	0	18	3	0	0
Tomocerus sp.	1	0	0	0	0	0	7	5	0	0
Total des Entomobryidae	10	1	9	6	13	1	69	19	27	3
Total des Arthropléones	463	62	48	22	111	65	940	648	1 073	603
Megalothorax minimus	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0
Total des Néélipléones	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0
Sphaeridia pumilis	0	1	0	0	0	0	24	23	0	7
Arrhopalites pygmaeus	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Sminthurinus signatus	16	11	52	93	0	0	99	161	9	19
Dicyrtoma fusca	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Dicyrtomina minuta	0	0	0	0	0	0	2	5	0	1
Allacma fusca	0	0	4	3	0	0	0	0	0	0
Total des Symphypléones	16	12	56	96	0	0	125	190	9	28
Total des Collemboles	479	74	104	118	111	65	1 065	838	1 085	631

TAB. II

Effectifs des espèces extraites de l'horizon 0 — 2,5 cm du sol dans la zone-témoin (T) et la zone piétinée (P) de la forêt de Foljuif

0-2,5 cm	19.II.82		22.IV.82		26.VII.82		21.X.82		20.I.83	
	T	P	T	P	T	P	T	P	T	P
Xenylla tullbergi	0	0	2	0	1	2	34	0	2	1
Friesea reducta	6	0	1	0	2	0	0	2	4	3
Neanura muscorum	4	1	0	0	0	0	1	0	1	0
Mesaphorura krausbaueri	154	13	30	0	10	0	11	5	105	39
Mesaphorura callypygos	0	0	3	2	3	0	16	0	3	1
Onychiurus gr. *armatus*	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Micranurida pygmaea	0	0	0	0	0	0	0	0	6	2
Total des Poduromorphes	165	14	36	2	16	2	62	7	121	46
Isotoma notabilis	29	0	66	3	28	14	12	7	85	37
Isotomiella minor	109	16	40	4	53	1	53	4	62	5
Folsomia quadrioculata	28	4	15	2	30	3	12	5	23	17
Total des Isotomidae	166	20	121	9	111	18	77	16	170	59
Lepidocyrtus sp. (jeune)	0	0	0	0	6	0	2	0	0	2
Lepidocyrtus curvicollis	0	0	0	0	10	0	4	0	0	
Lepidocyrtus lanuginosus	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Heteromurus major	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Orchesella cincta	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Pseudosinella alba	0	1	0	0	7	0	6	1	0	0
Total des Entomobryidae	5	1	0	0	25	0	12	1	0	2
Total des Arthropléones	336	35	57	11	152	20	151	24	291	107
Megalothorax minimus	0	0	0	0	0	0	2	0	3	1
Total des Néélipléones	0	0	0	0	0	0	2	0	3	1
Sminthurinus signatus	0	0	8	6	0	0	1	0	2	0
Total des Symphypléones	0	0	8	6	0	0	1	0	2	0
Total des Collemboles	336	35	65	17	152	20	154	24	296	108

paradoxalement, c'est dans l'horizon profond que les effectifs se sont alors le mieux rétablis, et pas du tout dans la litière.

Au niveau des grands groupes, nous pouvons séparer d'une part les Poduromorphes et les Isotomides qui voient leurs effectifs diminuer rapidement et les Symphypléones qui voient leurs effectifs augmenter, du moins dans le chemin piétiné (mais pas dans le rond central).

Une analyse plus fine montre qu'en réalité, à l'intérieur de chaque groupe, il existe des espèces plus sensibles que d'autres, et ceci pour chaque horizon.

B) **Résultats au niveau spécifique.**

Pour tous les horizons, nous n'avons retenu que les espèces dont les effectifs étaient suffisamment importants au cours du cycle annuel pour qu'une analyse des effets du piétinement soit significative. Nous avons supprimé, pour cette raison, les espèces d'Entomobryidae dont les effectifs ne permettaient pas de tirer de conclusion valable ; les espèces retenues sont les suivantes :

— pour la litière :
- *Xenylla tullbergi* } Poduromorphes
- *Mesaphorura krausbaueri* }
- *Isotoma notabilis* Isotomide
- *Sminthurinus signatus* Symphypléone

— pour H_1 (0 — 2,5 cm) :
- *Mesaphorura krausbaueri* Poduromorphe
- *Isotoma notabilis* }
- *Folsomia quadrioculata* } Isotomides
- *Isotomiella minor* }

— pour H_2 (— 2,5 — 5 cm) :
- *Mesaphorura krausbaueri* Poduromorphe
- *Isotomiella minor* Isotomide

Parmi ces six espèces, remarquons que :

— une seule est présente dans l'ensemble du profil : *Mesaphorura krausbaueri* ;

— deux espèces existent dans la litière et H_1 : *Folsomia quadrioculata* et *Isotoma notabilis* ;

— une espèce se trouve dans H_1 et H_2 : *Isotomiella minor* ;

— deux sont présentes dans la litière : *Xenylla tullbergi* et *Sminthurinus signatus*.

1. Les deux espèces caractéristiques de la seule litière, après une chute d'effectif initiale (à 10 % du témoin pour *X. tullbergi*, à 70 % pour *S. signatus*) sont favorisées par le piétinement et dépassent le niveau du témoin après une année pour *X. tullbergi*, après 3 mois seulement pour *S. signatus*. Par contre, dans le rond central, l'effectif de *S. signatus* diminue également ; la suppression de l'effet positif du piétinement sur cette espèce peut s'expliquer

TAB. III

Effectifs des espèces extraites de l'horizon — 2,5 — 5 cm du sol dans la zone-témoin (T) et la zone piétinée (P) de la forêt de Foljuif

— 2,5-5 cm	19.II.82		22.IV.82		26.VII.82		21.X.82		20.I.83	
	T	P	T	P	T	P	T	P	T	P
Xenylla tullbergi	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0
Friesea reducta	0	3	1	0	1	0	2	0	0	1
Micranurida pygmaea	2	0	0	0	0	0	1	0	1	0
Mesaphorura krausbaueri	11	9	15	2	0	2	20	1	11	10
Mesaphorura callypygos	2	0	3	1	0	0	21	1	2	1
Total des Poduromorphes	15	12	19	3	3	2	44	2	14	12
Isotoma notabilis	2	0	12	0	8	6	0	0	2	1
Isotomiella minor	7	3	23	1	10	1	12	0	7	3
Folsomia quadrioculata	1	0	0	0	2	0	0	0	0	1
Total des Isotomidae	10	3	35	1	20	7	12	0	9	5
Lepidocyrtus sp. (jeune)	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0
Orchesella cincta	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Pseudosinella alba	0	0	0	0	3	0	2	0	0	0
Total des Entomobryidae	0	0	0	0	6	1	2	0	0	0
Total des Arthropléones = Total des Collemboles	25	15	54	4	29	10	58	2	23	17

soit parce que le piétinement de cette zone est vraiment très important, soit parce que l'invasion latérale sur un milieu perturbé (donc susceptible d'être colonisé) est gênée par la distance à parcourir dans le cas du rond central (surface 4 m²), mais pas dans le cas du chemin (largeur 40 cm).

2. Les effectifs des deux espèces caractéristiques de la litière et de l'horizon 0 — 2,5 cm sont immédiatement et durement touchés par le piétinement et se rétablissent mieux dans le sol (sans retrouver ceux observés dans le témoin) que dans la litière.

3. L'espèce caractéristique du sol, *Isotomiella minor*, voit ses effectifs baisser de manière immédiate et très forte en H_1 où ils n'arrivent pas à s'améliorer par rapport à ceux du témoin alors que l'effet du piétinement est retardé, moins net et moins persistant en profondeur.

4. La seule espèce présente dans l'ensemble du profil, *M. krausbaueri*, connaît un effet du piétinement immédiat, important et durable dans la litière et dans l'horizon H_1, retardé et temporaire en H_2.

C) **Évolution de la structure du peuplement de Collemboles.**

Nous avons utilisé l'indice de diversité spécifique de Shannon (SHANNON & WEAVER, 1948).

$$I_{Sh} = - \Sigma p_i \log_2 p_i.$$

La comparaison entre les courbes de la richesse spécifique et de la diversité spécifique montre que, si souvent leur évolution est parallèle, il y a plusieurs exemples de discordance entre les deux.

1. *Litière.*

— Cycle annuel dans le témoin : il existe une valeur minimale de l'indice de diversité spécifique en juillet qui montre que l'augmentation de la température et la baisse de la pluviosité (27,6 mm pour une moyenne mensuelle sur l'année de 60 mm) constituent une contrainte sur le peuplement des Collemboles. Il existe de même une valeur maximale lors de la chute de la litière ; cette valeur maximale ne traduit pas forcément une maturité du peuplement, mais correspond plutôt à une période d'intense colonisation où la nourriture abondante résultant de la chute des feuilles n'induit pas encore d'ajustement entre les espèces.

— Cycle annuel dans la zone piétinée : après un mois de piétinement, la diversité du peuplement est identique à celle du témoin, ce qui ne veut pas dire qu'il n'y a eu aucun changement comme le montre le tableau I. La chute de cet indice de diversité est forte après 3 mois et on assiste à une hiérarchisation poussée en juillet (deux espèces seulement, dont l'une avec 64 individus, l'autre avec 1 individu) : l'effet de la contrainte par les conditions climatiques est nettement plus importante que dans le témoin. Avec la chute de la nouvelle litière, l'indice de diversité du peuplement de Collemboles épigés revient strictement au même niveau que dans le témoin, avec un nombre d'espèces presque identique à celui des sites non piétinés (16 contre 17 en octobre et même 10 contre 8 en janvier).

2. *H_1 (0 — 2,5 cm).*

— Cycle annuel dans le témoin : le profil est moins accentué que dans la litière ; les minima de ces deux horizons ne concordent d'ailleurs pas : H_1 voit sa richesse et sa diversité spécifique augmenter en juillet, vraisemblablement par migration verticale des espèces fuyant la sécheresse de surface.

— Cycle annuel dans la zone piétinée : le profil est également beaucoup moins accentué que dans la litière ; cependant, l'écart dans l'indice de diversité sous l'effet du climat de juillet est tout de même très important par rapport au témoin. Notons que souvent (et en particulier en avril et octobre 1982), les effectifs faibles faussent les comparaisons ; c'est pourquoi la remontée de l'indice de diversité spécifique entre février et avril 1982 n'a pratiquement aucune signification.

3. *H_2 (— 2,5 —5 cm).*

Les effectifs étant trop faibles, les résultats n'ont pas de signification.

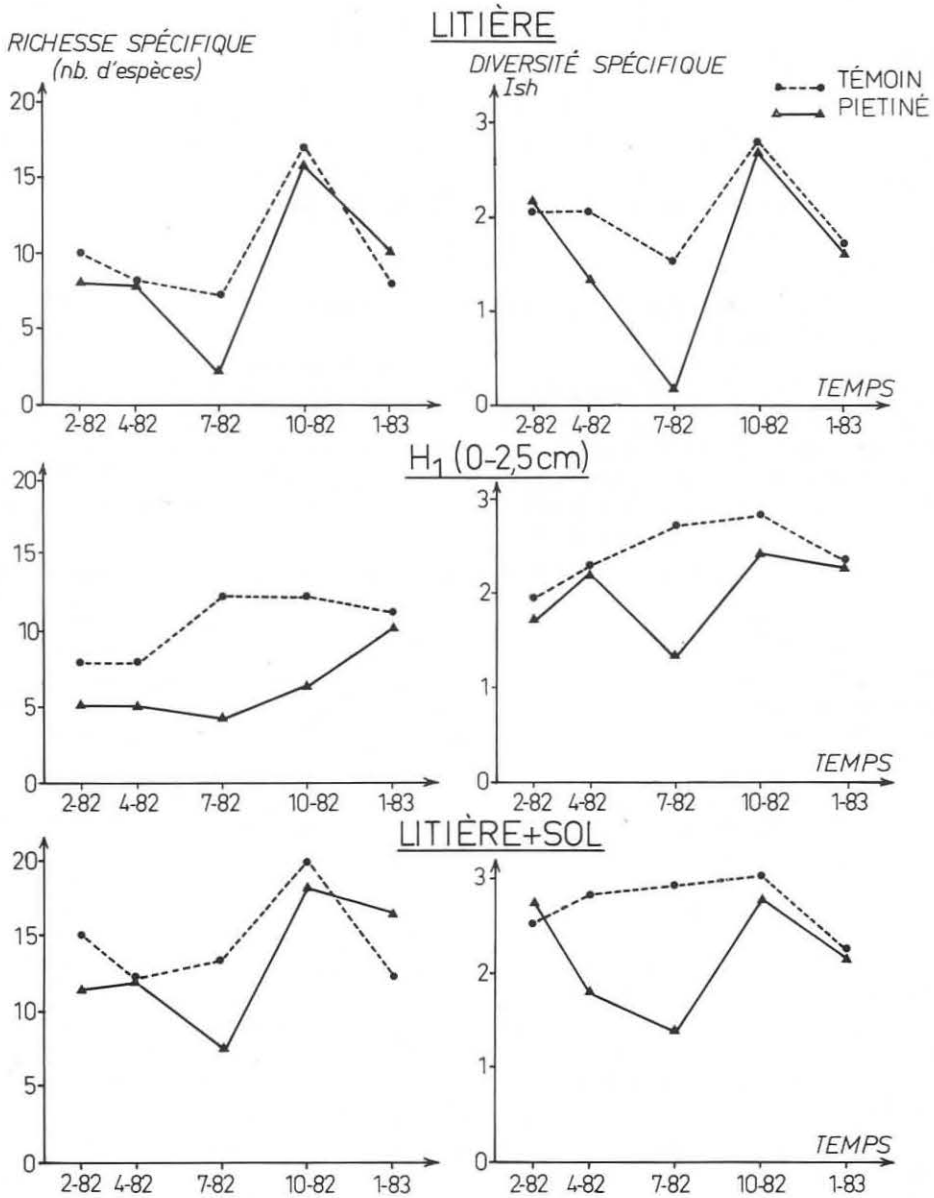

FIG. 1. — Évolution de la richesse spécifique et de la diversité spécifique des Collemboles de la litière, de l'horizon superficiel (0 — 2,5 cm) du sol et de l'ensemble litière + sol (0 — 5 cm) dans la zone-témoin et la zone piétinée de la forêt de Foljuif (France ; Seine-et-Marne). (Ish = indice de diversité spécifique de Shannon).

4. *Profil total : litière + ensemble des horizons du sol.*

En principe, un indice calculé sur les données cumulées de deux ensembles différents est à éviter parce que la signification écologique de la diversité spécifique, qui n'est déjà pas très évidente dans un microbiotope « homogène », vu le nombre de déterminants possibles, devient très difficile à saisir. Nous avons tout de même effectué ce calcul, à titre d'information, parce que la litière et le sol sont deux niveaux fortement dépendants l'un de l'autre au sein d'un même profil, en particulier par les migrations verticales en fonction des contraintes climatiques au-dessus de la litière.

— Cycle annuel dans le témoin : le profil est assez régulier ; la chute de l'indice de diversité entre octobre 1982 et janvier 1983 est vraisemblablement due, comme d'ailleurs dans la litière seule, aux phénomènes d'ajustements entre les espèces après la phase d'expansion consécutive à la chute de la litière.

— Cycle annuel dans la zone piétinée : le profil annuel rend certainement assez bien compte de la contrainte due au piétinement jusqu'à la nouvelle chute de litière où effectifs, richesse spécifique et diversité spécifique sont à nouveau proches (même supérieurs parfois) de ceux du témoin.

III. — DISCUSSION - CONCLUSION

L'analyse des données recueillies sur le groupe des Collemboles tant au niveau global qu'au niveau spécifique et sur le plan de l'organisation du peuplement nous permet d'affirmer que l'influence du piétinement sur le sol d'une forêt tempérée humide se fait sentir :

1° sur la totalité des horizons.

Globalement il y a baisse d'effectif total tous horizons confondus et dans chacun des trois horizons prospectés.

Paradoxalement, l'horizon H_1 (0 — 2,5 cm) a plus souffert, en termes d'effectifs, que la litière. Mais c'est dans la litière que la hiérarchisation du peuplement de Collemboles est la plus importante. Ces deux faits apparemment contradictoires posent le problème de l'importance relative des deux contraintes (l'augmentation de la densité apparente du sol et la diminution de sa perméabilité d'une part, le tassement et l'effritement du matériel végétal mort constitué par la litière d'autre part) et celui du choix d'une méthode d'évaluation (par les effectifs, par la hiérarchisation du peuplement ou par les deux).

La réaction globale des Collemboles n'est pas annulée par la nouvelle chute de litière ; à cette période, les effectifs se rétablissent d'ailleurs mieux dans l'horizon profond que dans la litière.

2° sur la totalité des espèces.

Aucune espèce ne se maintient exactement au niveau qu'elle atteint dans le témoin. Mais les réactions au piétinement sont très diverses :

— les espèces caractéristiques du domaine épigé, surtout l'espèce de

Symphyléone, sont favorisées par le piétinement (du moins lorsque la zone piétinée n'est pas trop large) ;

— les espèces du sol sont défavorisées par le piétinement de façon d'autant plus forte et durable qu'elles sont plus proches de la surface ;

— les espèces de la litière et du sol sont défavorisées par le piétinement, mais l'effet est moins durable dans la litière.

Ces conclusions rejoignent celles de GARAY *et al.* (1980) et de NATAF (1983).

3° très rapidement.

— dès les premiers piétinements (après un mois), on assiste à une diminution très forte de l'effectif global des Collemboles (à 15 % de l'effectif du témoin) pour l'ensemble du profil (litière + sol) ;

— la baisse des effectifs de l'ensemble Poduromorphes + Isotomides est immédiate et importante dans la litière et dans l'horizon 0 — 2,5 cm ; par contre, la remontée des effectifs est nettement plus rapide dans la litière.

4° sur la richesse et la diversité spécifiques.

— l'effet immédiat du piétinement sur la richesse spécifique est nul dans la litière et le sol, mais est important sur la diversité spécifique dans la litière ;

— l'effet le plus important du piétinement au cours d'un cycle annuel complet réside dans l'aggravation de la baisse estivale de la richesse et de la diversité spécifiques dans la litière. Dans l'horizon 0 — 2,5 cm, ces deux valeurs diminuent fortement dans la zone piétinée alors qu'elles augmentent dans le témoin ;

— au moment de la nouvelle chute de litière, la richesse et la diversité spécifiques se retrouvent à des niveaux sensiblement identiques dans le témoin et dans la zone piétinée.

5° le piétinement ne provoque pas de modification fondamentale du spectre spécifique.

RÉSUMÉ

Afin d'évaluer l'effet d'un piétinement par l'homme sur la litière et le sol d'une forêt périurbaine de la région parisienne (France), nous avons procédé à un piétinement expérimental et choisi comme modèle le peuplement des Collemboles.

Le dispositif expérimental est constitué d'un chemin de 90 m de long et de 0,40 m de large, au sein d'une parcelle de 500 m². L'expérience a duré 14 mois, totalisant 562 passages. La litière et le sol de 0 à 5 cm de profondeur, en 2 horizons, ont été échantillonnés.

Les résultats les plus marquants sont :

— il y a baisse d'effectif total dans l'ensemble du profil et dans chacun des trois horizons prospectés ;

— les réactions au piétinement sont variables selon les espèces ou groupes d'espèces ;

— dès les premiers piétinements, nous assistons à une forte diminution des effectifs des Collemboles ; les effets sont donc pratiquement immédiats ;

— l'effet le plus important du piétinement sur l'organisation du peuplement des Collemboles est l'aggravation de la baisse estivale de la richesse et de la diversité spécifiques dans la litière ; dans le sol, ces deux valeurs diminuent fortement alors qu'elles augmentent dans le témoin.

Summary

Trampling experiment on a suburban forest soil : effects on Collembolan communities

In order to estimate the human trampling effect on the litter and soil from an outlying forest of Paris (France), an experimental trampling was performed, testing the reactions of Collembolan communities.

The experimental spot was a lane (90 m long and 0.40 m wide) crossing through a forest area of 500 m². The experiment took 14 months and necessitated 562 passings over the lane. Litter and soil samples (from 0 to 5 cm deep, divided in two parts) were collected.

The most oustanding results are as follows:

— There is a decrease in total number of Collembolan along the whole soil profile, and in each investigated layers.

— The trampling effects are variable according to the species or the species groups.

— As soon as the first tramplings are operated, a strong decrease of individuals appears, that means the faunal reactions occur right away.

— The most important effect of the trampling upon the organization of Collembolan communities is a strong decrease of specific richness and specific diversity during the summer period within the litter layer. These two parameters decrease also abruptly within the soil whereas they raise in controlled spots outside the lane.

Bibliographie

Aritajat (U.), Madge (D. S.) & Gooderham (P. T.), 1977. — The effects of compaction of agricultural soils on soil fauna. I. Field investigations. *Pedobiologia*, **17**: 262-282. II. Laboratory investigations. *Pedobiologia*, **17**: 283-291.

Blandin (P.), Garay (I.) & Molfetas (S.), 1982. — L'impact du piétinement en forêt. *La Forêt privée*, **146**: 23-33.

Chappell (H. G.), Ainsworth (J. F.), Cameron (R. A. D.) & Redfern (M.), 1971. — The effects of trampling on a chalk grassland ecosystem. *J. Appl. Ecol.*, **9**: 439-458.

Düggali (M.), 1937. — Wie wirkt das öftere Betreten des Waldbodens auf einzelne physikalischen und biologischen Eigenschaften ? *Schweiz. z. Forstwiss.*, **88**: 151-165.

Falinski (J. B.), 1973. — Reaction on field layer in forest communities to trampling in the light of experimental studies. *Phytocenosis*, **2**: 205-217.

Flogaïtis (E.), 1982. — *Les Macroarthropodes édaphiques comme indicateurs biologiques de l'impact du piétinement dans les forêts périurbaines : une approche expérimentale.* Thèse 3e cycle, Univ. P. et M. Curie, Paris VI : 109 p.

GARAY (I.), CANCELA DA FONSECA (J. P.) & BLANDIN (P.), 1980. — The effects of trampling on the fauna of the forest floor. I. Microarthropods. *In*: *Soil Biology as related to land use practices*, DINDAL D. L., Ed. Proc. VII*th* Int. Soil Coll., Syracuse ; EPA, **560**, Washington : 200-212.

GARAY (I.) & NATAF (L.), 1982. — Microarthropods as indicators of human trampling in suburban forests. *In*: *Urban Ecology*, BORNKAMM R., LEE J. A. & SAEWARD M. R. D., Ed. Proc. II*nd* Europ. Ecol. Symp., Berlin, 8 - 12 sept. 1980 : 201-207.

GUEGAMIAN (G.), 1982. — L'effet du piétinement sur la microflore édaphique dans une forêt périurbaine. *Rev. Écol. Biol. Sol*, **19**: 345-349.

HERMOSILLA (W.), RECA (A. R.), PUJALTE (J. C.) & RUBIO (I.), 1977. — Efectos de la compactacíon del suelo sobre la fauna edáfica en campos pastoreados (Prov. Buenos-Aires, Argentina). *Physis*, C, **36**: 227-236.

HERMOSILLA (W.), RUBIO (I.), PUJALTE (J. C.) & RECA (A. R.), 1978. — Die Wirkung der Bodenverdichtung auf die hypogäischen Zoozönosen. *Landwirtsch. Forsch.*, **31**: 208-217.

MOLFETAS (S.) & BLANDIN (P.), 1980. — The effects of trampling on the fauna of a forest floor. II. Macroarthropods. *In*: *Soil Biology as related to land use practices*, DINDAL D., Ed. Proc. VII*th* Int. Soil. Coll., Syracuse ; EPA, **560**, Washington : 213-225.

NATAF (L.), 1983. — *Impact du piétinement sur le sol et les Microarthropodes édaphiques en forêt périurbaine.* Thèse 3e cycle Univ. P. et M. Curie (Paris VI) : 100 p.

ROBIN (A. M.) & GEOFFROY (J. J.). — Expérience de piétinement contrôlé en forêt périurbaine : protocole expérimental et étude pédologique *(sous presse)*.